Jaczewski A., Pilguj N., Sobczyk B., Strzyżewski T., Wieczorek J.,
Zapotrzebowanie na grzanie i chłodzenie - wskaźnik stopniodni,
Pracownia Fizyki i Modelowania Klimatu IMGW-PIB,
https://modele.imgw.pl/?page_id=45610

Zapotrzebowanie na grzanie i chłodzenie - wskaźnik stopniodni

Warunki termiczne a wykorzystanie energii

Zachowanie optymalnych i stabilnych warunków w obiektach budowlanych oraz utrzymanie komfortu termicznego ich użytkowników zależne jest od warunków otoczenia zewnętrznego, które determinują wymianę ciepła. Środowisko zewnętrzne stanowi referencję dla pracy urządzeń grzewczych lub chłodzących i wpływa na zużycie energii w obiektach.

Obserwowany globalny wzrost temperatury powietrza prowadzi do mniejszego zużycia energii na procesy ogrzewania, ale jednocześnie do większego zużycia energii niezbędnej do chłodzenia. Ten trend oznacza zmianę w sezonowym bilansie energii. Bezpośrednio wpływa na zużycie energii związane z warunkami pogodowymi, natomiast w dłuższym terminie wymaga dostosowania norm w projektowaniu budynków i przystosowania infrastruktury energetycznej. Wahania temperatury mogą wpływać na odczuwanie ciepła i kondycję zdrowotną, szczególnie wrażliwych grup, takich jak dzieci i osoby starsze, które spędzają dużo czasu w pomieszczeniach zamkniętych.

Wyznaczanie stopniodni grzania i chłodzenia

Do oceny wpływu zmiany klimatu na różne dziedziny życia i sektory gospodarki używa się odpowiednich wskaźników klimatycznych. Wpływ zmiany warunków termicznych na poziom komfortu użytkowników oraz zapotrzebowanie na ogrzewanie i klimatyzację w obiektach ocenia się na podstawie wskaźników stopniodni grzania (**HDD**, ang. Heating Degree Days) i chłodzenia (**CDD**, ang. Cooling Degree Days). Określają one różnicę między średnią dobową temperaturą powietrza na zewnątrz, a wartością użytkową temperatury powietrza, przyjętą za próg minimalny dla zachowania komfortu termicznego w pomieszczeniach. Warunek ten wiąże się z założeniem, że temperatura na zewnątrz musi spaść/wzrosnąć o kilka stopni zanim włączymy ogrzewanie/klimatyzację ze względu na izolacyjność budynku i zyski energii od wewnętrznych źródeł (obecność ludzi, praca urządzeń).

Ze względu na regionalne zróżnicowanie warunków termicznych oraz preferencje użytkowników nieruchomości, należy mieć na uwadze, że wartość temperatury bazowej (zewnętrznej jak i wewnętrznej) dla wdrożenia procesów grzania lub chłodzenia obiektów mogą różnić się między opracowaniami (por. Rys 1, 2). Na przykład, w Wielkiej Brytanii za bazową wartość średniej dobowej temperatury powietrza przyjmuje się 15.5°C i 22.0°C odpowiednio dla wyznaczania HDD i CDD. W tej metodyce wartość średniej temperatury w pomieszczeniu przyjmuje się na tym samym poziomie co bazową. Oznacza to, że w praktyce stopniodni grzania zostaną skumulowane dla okresu jedynie z dni, kiedy średnia dobowa wartość temperatury powietrza na zewnątrz nie będzie wyższa niż 15.5°C.

Stosowane są też bardziej skomplikowane wzory, wykorzystujące, poza średnią dobową, dodatkowo wartości temperatury minimalnej i maksymalnej (Spinoni i in. 2017, patrz Tabele 2 i 3 publikacji).

$$HDD = \sum_{i=1}^{N}(HDD_i) \qquad \begin{cases} HDD = x - T_{im} \\ HDD = 0 \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{if } T_{im} \le y \\ \text{else} \end{matrix}$$

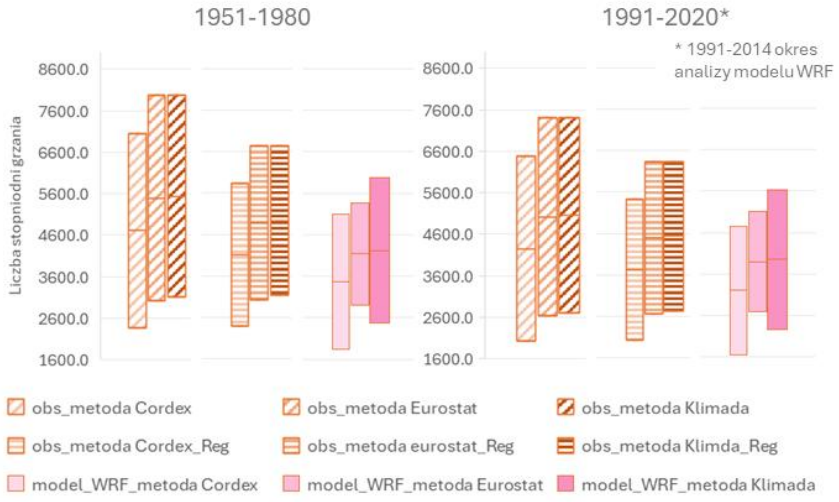
$$CDD = \sum_{i=1}^{N}(CDD_i) \qquad \begin{cases} CDD = T_{im} - x \\ CDD = 0 \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{if } T_{im} \ge y \\ \text{else} \end{matrix}$$

*Dla Klimada if $T_{im} > y$

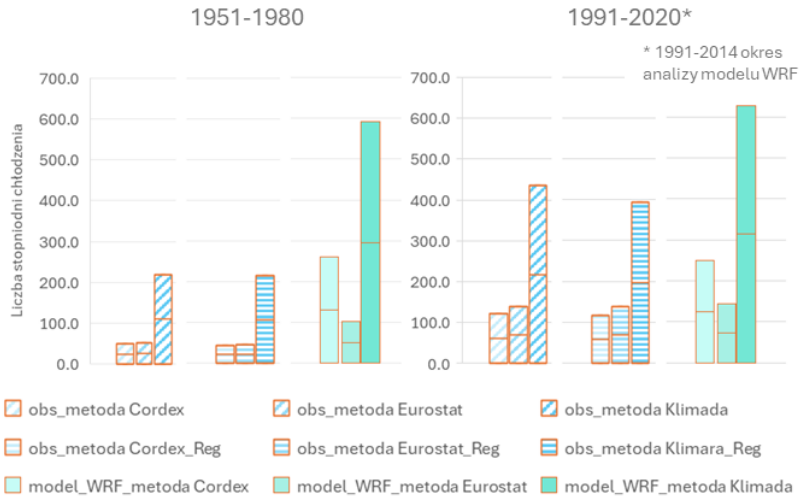
Tabela 1. Metodyka wyznaczania HDD i CDD

	MetOffice/Cordex[1]	Eurostat[2]	KLIMADA[3]
HDD	x = 15.5°C y = x	x = 18°C y = 15°C	x = 18°C y = x
CDD	x = 22°C y = x	x = 24°C y = 21°C	x = 18°C y = x

Metodykę opisano szczegółowo: [1] Spinoni i in. 2017, [2] EUROSTAT, Energy statistics - cooling and heating degree days (nrg_chdd) [WWW Document], 2024, https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg_chdd_esms.htm, [3] https://klimada2.ios.gov.pl/wskazniki/



Rysunek 1. Zakres liczby stopniodni grzania (HDD) w Polsce zależnie od przyjętej metodyki opracowania. Porównanie wyników na podstawie danych historycznych i modelowania WRF.



Rysunek 2. Zakres liczby stopniodni chłodzenia (CDD) w Polsce zależnie od przyjętej metodyki opracowania. Porównanie wyników na podstawie danych historycznych i modelowania WRF.

PRACOWNIA FIZYKI I MODELOWANIA KLIMATU
climate_lab@imgw.pl

Metodyka i źródła danych wykorzystane w opracowaniu dla obszaru Polski

W naszym opracowaniu korzystamy z metodyki szacowania HDD i CDD przyjętej przez EUROSTAT (EUROSTAT, 2024). Wybór ten motywowany jest możliwością porównania charakterystyk HDD i CDD otrzymanych dla Polski z innymi opracowaniami regionalnymi (por. Eurostat). Za wartości średniej dobowej temperatury na zewnątrz do wyznaczania HDD i CDD przyjmuje się odpowiednio 15°C i 24°C (na mapach odpisano HDD_15 i CDD_24), obliczając wartość dla danej doby względem 18°C dla HDD i 21°C dla CDD (patrz Tabela 1).

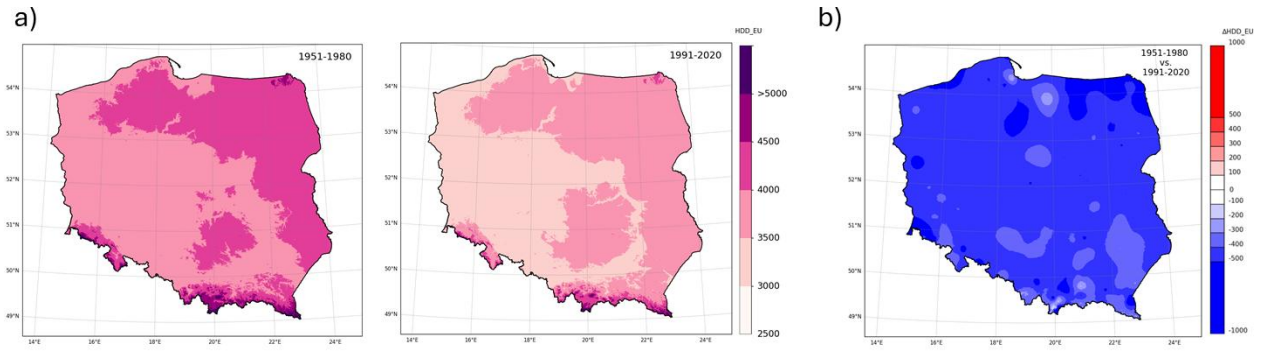
W analizach wykorzystano zbiór gridowy **PL1GD-T** o rozdzielczości poziomej 1 km^2 (Jaczewski i in., 2025) opracowany na podstawie historycznych wartości pomiarowych. Uwzględniono dane o średniej dobowej wartości temperatury powietrza. Zmianę zapotrzebowania na procesy grzania i chłodzenia analizowano w dwóch okresach referencyjnych: 1951-1980 i 1991-2020. Opracowano również wyniki symulacji regionalnego modelu klimatu WRF dla analogicznych okresów – z nieznacznym skróceniem w przypadku drugiej serii (1991-2014), uwarunkowanym przyjętym w CMIP6 okresem historycznym symulacji (1951-2014). Wyniki modelu WRF stanowią wkład IMGW-PIB w wiązkę symulacji **EURO-CORDEX**. Dodatkowa analiza wyników HDD i CDD z modelu klimatu WRF oraz porównanie obserwowanych i modelowanych zmian między wskazanymi okresami 30-letnimi ma na celu ocenę dokładności modelu.

Ze względu na różnice w rozdzielczości przestrzennej między danymi obserwacyjnymi i modelowymi, porównanie wyników zostało wykonane na siatce modelu WRF (o rozdzielczości poziomej 12,5 km^2). W tym celu dane obserwacyjne temperatury zostały zagregowane do siatki modelu. Efektem tej procedury – uśredniana danych z gęstszej siatki do siatki rzadszej - jest zmniejszenie zakresu obserwowanych wartości. Skutkuje to zwiększeniem zakresu wartości temperatury zimą i zmniejszeniem latem, a co za tym idzie, zmniejszeniu ulegają CDD i HDD w porównaniu do liczby stopniodni obliczonych na podstawie oryginalnych danych PL1GD-T (Rys. 1 i 2).

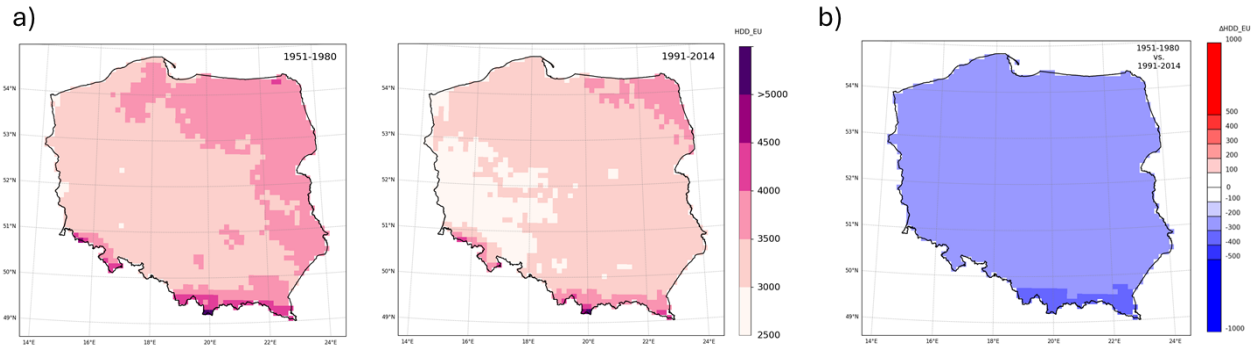
Suma roczna liczby stopniodni grzania na obszarze Polski

Wyraźne jest większe zapotrzebowanie na grzanie pomieszczeń we wschodniej części kraju oraz obszarach górskich i wyżynnych, gdzie ich zróżnicowanie w skali lokalnej jest największe (Rys. 3). Stąd też konieczność wydzielenia szerokiego przedziału wartości powyżej 5000 stopniodni grzania. Zapotrzebowanie na dogrzewanie pomieszczeń w okresie 1991-2020 zmniejszyło się o jedną klasę względem średniej z 1951-1980. W ostatnim trzydziestoleciu na zachodzie Polski było średnio 3500-3000 stopniodni grzania, podczas gdy w części wschodniej i obszarach górskich > 3500 (Rys. 3). Model WRF trafnie odtworzył rozkład regionalnych różnic w zapotrzebowaniu na procesy grzewcze, natomiast zdecydowanie nie doszacował liczby stopniodni w obydwu okresach (Rys. 4), z większym odchyleniem od danych obserwacyjnych dla okresu 1951-1980 (Rys. 5).

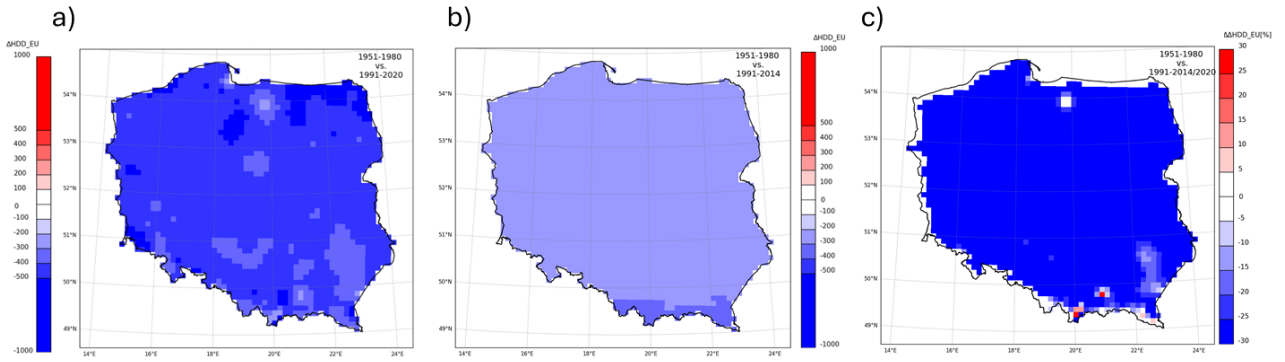
PRACOWNIA FIZYKI I MODELOWANIA KLIMATU
climate_lab@imgw.pl



Rysunek 3. a) Średnia suma roczna stopniodni grzania (HDD_EU) w Polsce w okresach 1951-1980 i 1991-2020 oraz b) zmiana średniej sumy rocznej stopniodni pomiędzy okresami. Opracowanie na podstawie danych obserwacyjnych, z wykorzystaniem metodyki Eurostat.



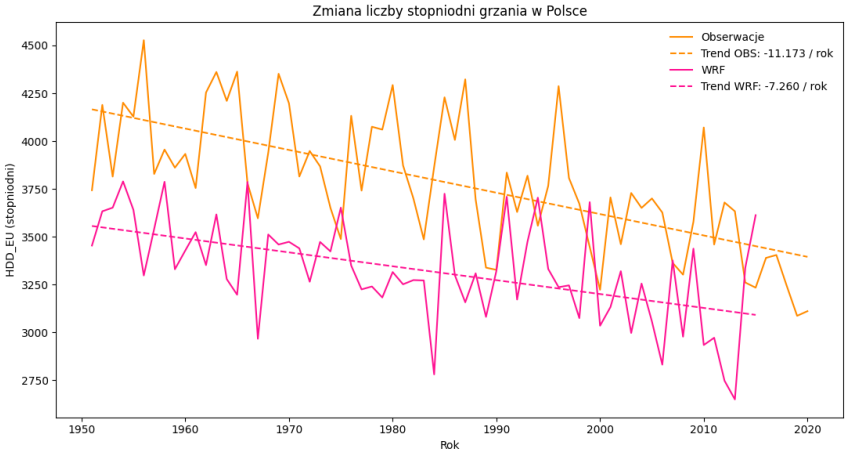
Rysunek 4. a) Wyniki modelu WRF: średnia suma roczna stopniodni grzania (HDD_EU) w Polsce w okresach 1951-1980 i 1991-2020 oraz b) zmiana średniej sumy rocznej stopniodni pomiędzy okresami. Opracowanie z wykorzystaniem metodyki Eurostat.



Rysunek 5. Zmiana średniej sumy rocznej stopniodni grzania między okresami 1951-1980 a 1991-2020 obliczona na podstawie a) danych obserwacyjnych (dane zregridowane), b) danych modelu WRF, c) względna różnica między zmianą modelowaną a obserwowaną: (b – a)/a x 100% - błąd modelu.

W okresie 1951-2020 przebieg średniej obszarowej sumy rocznej stopniodni grzania wykazuje wyraźną zmienność. Nie zaskakuje ujemny trend wynoszący 111 dni na dekadę (Rys. 6.), będący efektem obserwowanego globalnego wzrostu temperatury. Trend obserwowany w modelu jest wyraźnie mniejszy, 73 dni na dekadę.

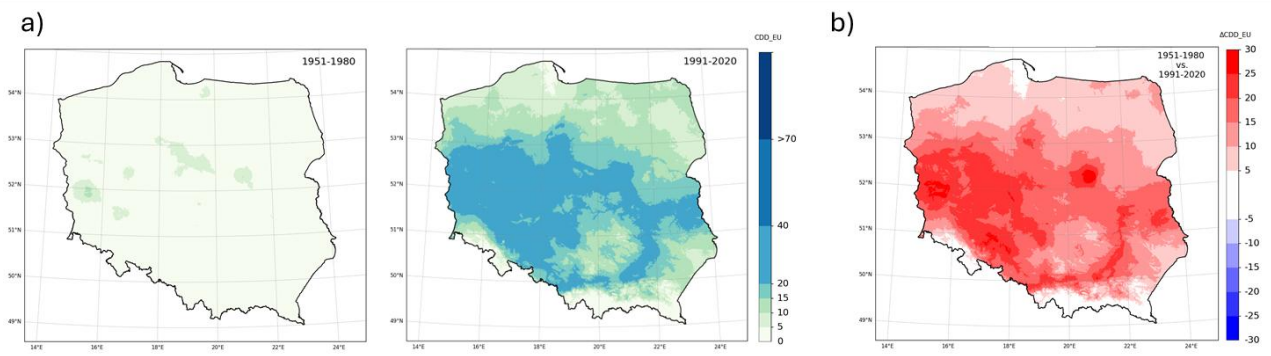
PRACOWNIA FIZYKI I MODELOWANIA KLIMATU
climate_lab@imgw.pl



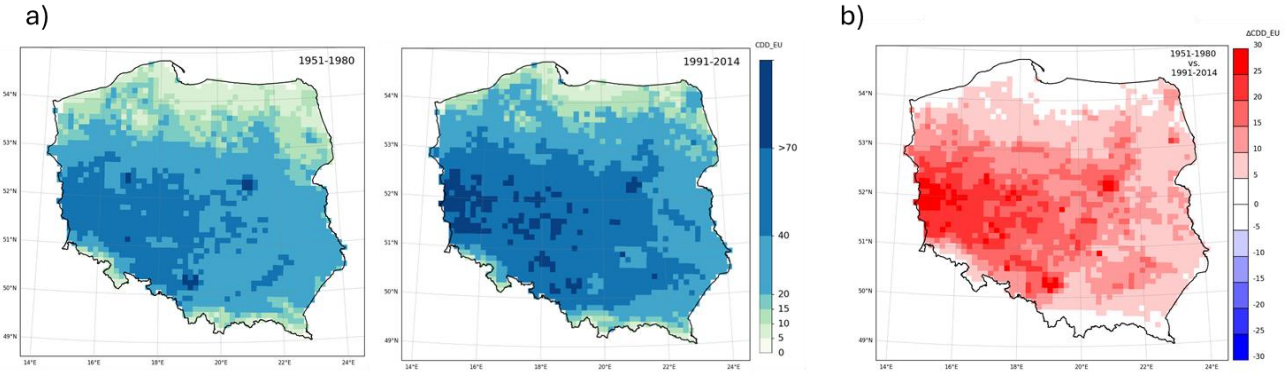
Rysunek 6. Trend średniej obszarowej sumy rocznej stopniodni grzania (HDD_EU) w Polsce w okresach 1951-2020 i 1951-2020 (-2014 dla WRF) obliczony dla danych obserwacyjnych i modelowych.

Suma roczna liczba stopniodni chłodzenia na obszarze Polski

W Polsce widoczny jest nawet 3-krotny wzrost liczby stopniodni chłodzenia, obserwowany w kolejnych okresach referencyjnych, zwłaszcza w centralnej części Polski (Rys. 6).

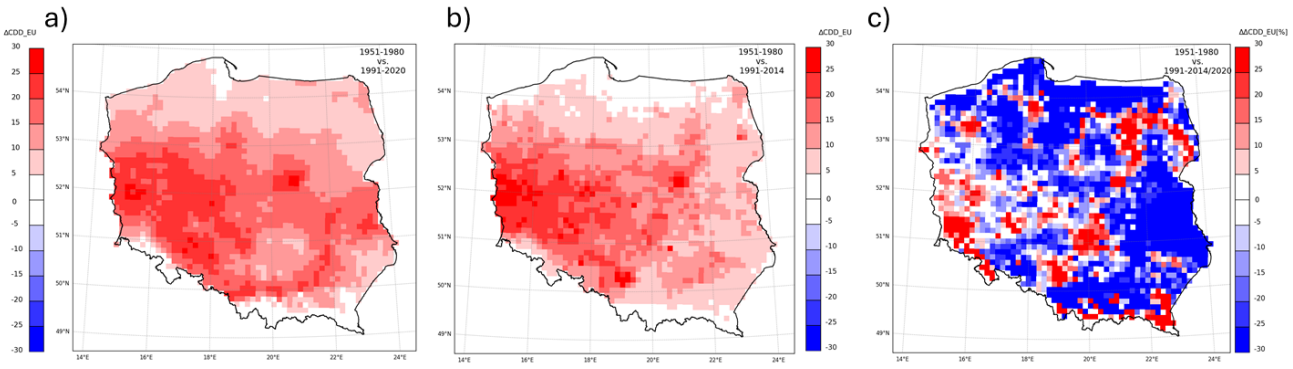


Rysunek 6. a) Średnia suma roczna stopniodni chłodzenia (CDD_EU) w Polsce w okresach 1951-1980 i 1991-2020 oraz b) zmiana średniej sumy rocznej stopniodni pomiędzy okresami. Opracowanie na podstawie danych obserwacyjnych, z wykorzystaniem metodyki Eurostat.



Rysunek 7. a) Wyniki modelu WRF: średnia suma roczna stopniodni chłodzenia (CDD_EU) w Polsce w okresach 1951-1980 i 1991-2020 oraz b) zmiana liczby stopniodni pomiędzy okresami. Opracowanie z wykorzystaniem metodyki Eurostat.

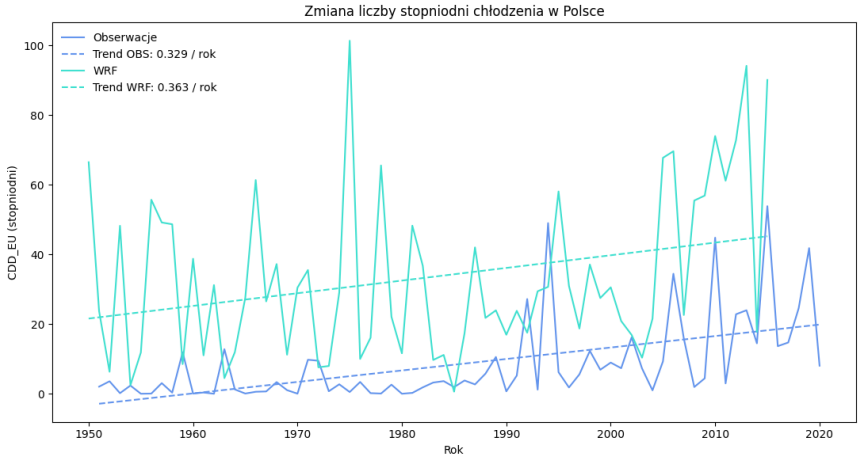
PRACOWNIA FIZYKI I MODELOWANIA KLIMATU
climate_lab@imgw.pl



Rysunek 8. Zmiana sumy rocznej stopniodni chłodzenia między okresami 1951-1980 a 1991-2020 obliczona na podstawie a) danych obserwacyjnych (dane zregridowane), b) danych modelu WRF, c) błąd modelu- względna różnica między zmianą modelowaną a obserwowaną: (b – a)/a x 100%.

W okresie 1951-1980 dane pomiarowe wskazywały, że średnioroczna liczba stopniodni wymagających wdrożenia chłodzenia nie przekraczała 13, natomiast w okresie 1991-2020 lokalnie w centralnej części kraju występowało do 43 stopniodni (Rys. 6). Wyniki modelowania wskazują na większą liczbę stopniodni chłodzenia w obydwu rozważanych okresach (Rys. 7), co jest najprawdopodobniej efektem przeszacowania wartości temperatury. Niemniej jednak, różnice liczby stopniodni pomiędzy okresami charakteryzują podobny rząd wartości, co dane obserwacyjne (Rys. 8). Analizując różnice zbiorów danych, należy jednak wskazać ich znacznie większe zróżnicowanie niż miało to miejsce w przypadku analizy stopniodni grzania (Rys. 5).

Trend zmiany zapotrzebowania na chłodzenie obiektów w okresie minionych 70 lat określony na podstawie danych obserwacyjnych wynosi 3,3 dnia na dekadę. Dane z modelu WRF wskazały na nieznacznie większy trend, równy 3,6 dnia na dekadę Rys. 9.).



Rysunek 9. Trend średniej obszarowej sumy rocznej stopniodni chłodzenia (CDD_EU) w Polsce w okresach 1951-2020 i 1951-2020 (-2014 dla WRF) obliczony dla danych obserwacyjnych i modelowych.

PRACOWNIA FIZYKI I MODELOWANIA KLIMATU
climate_lab@imgw.pl

Zmiana klimatu a liczba stopniodni

W analizowanym okresie, warunki termiczne w Polsce uległy wyraźnej zmianie, co ma bezpośredni wpływ na zapotrzebowanie na energię w związku z ogrzewaniem i schładzaniem pomieszczeń. Analiza zbiorów danych z okresu 1951-2020 wskazuje na wzrost liczby stopniodni chłodzenia (CDD) i jednoczesny spadek liczby stopniodni ogrzewania (HDD). Należy podkreślić, że nie wskazuje to na skrócenie czy wydłużenie sezonu ogrzewania/chłodzenia, ponieważ poszczególne lata mogą charakteryzować dość odmiennymi warunkami pogodowymi.

Oczekiwany wzrost średniej temperatury w przyszłości będzie skutkował kontynuacją dodatniego trendu CDD i negatywnego trendu HDD. By trafnie przewidywać scenariusz tej zmiany, niezbędna jest ocena dokładności modelu, której dokonuje się na danych historycznych (patrz zakładka Sprawdzać, porównywać i weryfikować). Zaprezentowane w analizie wyniki modelu WRF (1951-2014) wskazują na przeszacowanie wartości temperatury powietrza, ale charakteryzują dość zbliżony rozkład przestrzenny co dane obserwacyjne. Wskazuje to na przydatność wyników modelowania w analizach lokalnych i regionalnych, ale również na konieczność stosowania metod korekty błędów modeli. To zagadnienie zostanie podjęte w kolejnym opracowaniu.

Referencje:

EUROSTAT, Energy statistics - cooling and heating degree days (nrg_chdd) [WWW Document], 2024, https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg_chdd_esms.htm (dostęp 13.11.25).

Jaczewski, A., Marosz, M., Miętus, M., 2025. PL1GD-T: a high-resolution gridded daily air temperature dataset for Poland. Earth System Science Data 17, 3857–3871. https://doi.org/10.5194/essd-17-3857-2025

Spinoni, J., Vogt, J.V., Barbosa, P., Dosio, A., McCormick, N., Bigano, A. and Füssel, H.-M. (2018), Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100. Int. J. Climatol, 38: e191-e208. https://doi.org/10.1002/joc.5362

KLIMADA 2.0 https://klimada2.ios.gov.pl/wskazniki/ (dostęp 13.11.2025)